

Article, Published Version

Knieß, Hans-Gerhard; Köhler, Hans-Jürgen

Untersuchung gebundener Steinschüttungen auf Flexibilität, Verbundfestigkeit und Wasserdurchlässigkeit

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102921>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Knieß, Hans-Gerhard; Köhler, Hans-Jürgen (1984): Untersuchung gebundener Steinschüttungen auf Flexibilität, Verbundfestigkeit und Wasserdurchlässigkeit. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 55. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 113-134.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



UNTERSUCHUNG GEBUNDENER STEINSCHÜTTUNGEN AUF
FLEXIBILITÄT, VERBUNDFESTIGKEIT UND WASSER-
DURCHLÄSSIGKEIT

Investigation into the flexibility, binding
strength and water permeability of bound ripraps



Hans-Gerhard Knieß, Dr.-Ing. Baudirektor in der Bundesanstalt für Wasserbau.

Geboren 1940, Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Hochschule Darmstadt von 1961 bis 1966, Referendarbildung von 1967 bis 1969, Neubauamt Eiderabdämmung von 1969 bis 1973, seit 1974 in der Bundesanstalt für Wasserbau und dort Leiter des Referats "Konstruktiver Ingenieurbau", 1982 Promotion an der Technischen Universität Braunschweig über die Bemessung von Auskleidungen in Binnenschiffahrtskanälen.



Hans-Jürgen Köhler, Dipl.-Ing., wissenschaftlicher Angestellter in der Bundesanstalt für Wasserbau.

Geboren 1941, Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Hochschule Darmstadt von 1963 bis 1970, Stellvertretender Leiter in der Baustoff- und Bodenprüfstelle Darmstadt von 1970 bis 1973, Wissenschaftlicher Mitarbeiter beim Ingenieurbüro für Grundbau und Bodenmechanik Hamburg von 1973 bis 1974, seit 1975 in der Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe.

Inhaltsangabe

Die gebräuchlichste Form von Deckwerken an Wasserstraßen sind Steinschüttungen, die als Deckschicht mit einer darunterliegenden Filterschicht den Schutz der Uferböschungen und Kanalsohlen übernehmen. In der zurückliegenden Zeit sind in steigendem Maße diese Steinschüttungen auch zusätzlich mit verschiedenen Vergußmaterialien behandelt worden, die einen inneren Verbund zwischen den Steinen herstellen sollen. Im vorliegenden Bericht werden Untersuchungsmethoden und Ergebnisse der in den Jahren 1979 und 1980 in der BAW durchgeführten Vergleichsuntersuchungen vorgestellt. Die Untersuchungen erstreckten sich sowohl auf durchlässige wie dichte Materialien als auch bituminös wie zementgebundene Vergußstoffe. Beurteilt wurden Eigenschaften wie Flexibilität, Verbundfestigkeit, Wasserdurchlässigkeit und Mörtelverteilung.

Summary

The most common form of riprap on waterways are stone deposits consisting of a cover layer with a filter layer underneath which protects the embankment and the canal sole. In the past these stone deposits have been built increasingly with materials which produce a bond between the stones. The following report describes the methods of investigation and the results of a comparison investigation, which the BAW made in 1979 and 1980. The investigation ranged from pervious to impervious material and also bituminous and concrete bound materials. Properties such as flexibility, binding strength, water permeability and the material spreading had been tested.

I N H A L T

	Seite
1 Vorbemerkung	115
2 Bauweisen	116
3 Flexibilität	118
3.1 Definition	118
3.2 Prüfeinrichtungen	120
3.3 Ergebnisse	121
4 Wasserdurchlässigkeit	125
4.1 Definition	125
4.2 Prüfeinrichtungen	127
4.3 Ergebnisse	128
5 Verbundfestigkeit	130
5.1 Definition	130
5.2 Prüfeinrichtungen	131
5.3 Ergebnisse	131
6 Zusammenfassung	132
7 Literatur	133

1 Vorbemerkung

Zur Ausbildung von durchlässigen Kanalauskleidungen werden in stark befahrenen Wasserstraßen in zunehmendem Maße gebundene Deckwerksbauweisen in Form von Steinschüttungen mit einem Teil- oder einem Vollverguß aus unterschiedlich aufgebauten Vergußstoffen angewendet. Einige grundsätzliche Eigenschaften dieser Bauweisen wurden von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in mehrteiligen Vergleichsversuchen ermittelt.

Steinschüttungen können sowohl im Trockenen als auch unter Wasser durch einen Teil- oder Vollverguß so gebunden werden, daß die aus Strömung, Wellen und Eis angreifenden Kräfte nicht mehr lokal von einzelnen Steinen, sondern flächig von der gesamten Deckschicht aufgenommen werden. Unter Berücksichtigung von Investitions- und Erhaltungskosten wird hierdurch oft eine wirtschaftliche Bauweise erzielt - s. KNIESS (1983). Durch den Verguß der Schüttsteindeckwerke wird die Widerstandsfähigkeit gegenüber den von außen angreifenden Lasten wesentlich erhöht. Im Hinblick auf die zu fordernde Anpassungsfähigkeit (Flexibilität) eines Deckwerkes gegenüber möglichen Untergrundverformungen wie z.B. Setzungen und Sackungen sowie der zu fordernden hohen Wasserdurchlässigkeit gegenüber den von der Schifffahrt hervorgerufenen Sunk- und Wellenbelastungen, sind Grenzen für die Anwendung unterschiedlicher Vergußstoffe und Vergußmengen unbedingt einzuhalten.

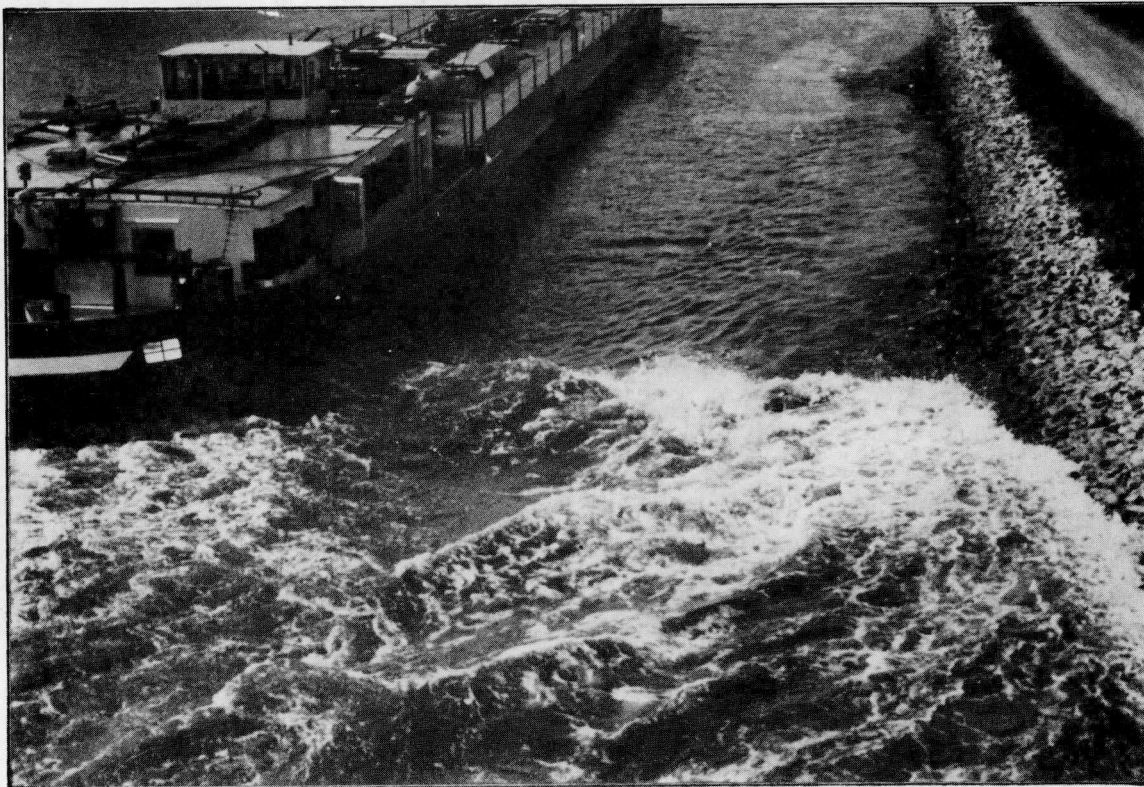


Bild 1 Belastung eines Uferdeckwerks bei schneller Schiffs-
vorbeifahrt

Zwischen diesen drei bestimmenden Eigenschaften eines Deckwerks gilt es daher, auch unter Beachtung der für die Standsicherheit eines Deckwerks maßgebenden Minstdicke, einen verträglichen Kompromiß zu finden.

2 Bauweisen

Die verwendeten Probendeckwerke wurden aus Schüttsteinen der Größenklasse II aufgebaut, die sich mit Steinlängen zwischen 15 und 25 cm bisher für gebundene Steinschüttungen am besten geeignet haben. Für die Verklammerung wurden 5 Bauweisen gewählt, die einen repräsentativen Querschnitt der gegenwärtig technisch erprobten Bauverfahren für den Unter- als auch Überwassereinbau darstellen.

1. Teil-Verguß mit Asphaltmastix
2. Voll-Verguß mit wasserdurchlässiger, bituminös gebundener Vergußmasse
3. Teil-Verguß mit kolloidalem, zementgebundenem Mörtel
4. Teil-Verguß mit erosionsfestem, zementgebundenem Mörtel
5. Voll-Verguß mit wasserdurchlässigem, zementgebundenem Mörtel.



Bild 2 Vergießen einer Steinschüttung mit kolloidalem Mörtel und mit Asphaltmastix

Die Prüfkörper wurden gesondert für die jeweilige Teil-Untersuchung im Trockenen hergestellt, wobei der Verguß von erfahrenen Fachfirmen ausgeführt wurde. Die dabei an den Probekörpern ermittelten Kennwerte sind in der Tabelle 1 angegeben.

Bezeichnung der Probekörper			Hohlraum ohne Verguß		Hohlraum mit Verguß		Hohlraum Verfüllungsgrad	Flächenvergußmenge			Spezifisches Deckwerksgewicht einschließlich Verguß		
Probekörper	Deckwerksdicke	Art des Vergusses	Vergußvolumen	Volumen	Porenvolumen	Volumen	Porenvolumen	$d_v = \frac{V_B}{V_{H,M}}$	Vergußmasse		Vergußvolumen	über Wasser	unter Wasser
				$V_{H,M}$	n_M	$V_{H(M+B)}$	$n_{(M+B)}$		g_B	g'_B		V_B	γ_D
Nr.	[cm]		[dm ³ /m ²]	[dm ³]	[-]	[dm ³]	[-]	[-]	[kg/m ²]	[kg/m ²]	[dm ³ /m ²]	[kN/m ³]	[kN/m ³]
				(24)	(25)	(26)	(27)	(28)	(29)	(30)	(31)	(32)	(33)
1	40	Teilverguß Asphaltmastix , dicht	42,7	133,9	0,44	101,7	0,34	0,24	83,8	41,1	42,7	15,5	8,8
2	40	Vollverguß Hydrocrete , durchlässig	139,8	135,2	0,45	29,8	0,10	0,78	300,4	160,6	139,8	20,8	11,8
3	40	Vollverguß Fixopen , durchlässig	101,6	135,2	0,45	58,6	0,19	0,57	257,0	155,4	101,6	19,6	11,6
4	40	Vollverguß Fixopen , durchlässig	89,3	132,6	0,44	65,3	0,22	0,51	225,9	136,6	89,3	19,0	11,1
5	40	Teilverguß Colcrete , dicht	63,1	136,5	0,45	88,9	0,29	0,35	138,7	75,6	63,1	16,7	9,7
6	40	Teilverguß Colcrete , dicht	60,7	132,3	0,44	86,5	0,29	0,35	133,7	72,9	60,7	16,5	9,4
7	40	Teilverguß Hydrocrete , dicht	61,4	126,2	0,42	79,9	0,26	0,37	131,9	70,5	61,4	16,7	9,4
8	40	Teilverguß Hydrocrete , dicht	55,7	133,9	0,44	31,9	0,30	0,31	119,9	64,2	55,7	16,3	9,3
9	40	Vollverguß Hydrocrete , durchlässig	141,9	133,6	0,44	26,6	0,09	0,80	305,0	163,1	141,9	21,0	11,9
10	40	Teilverguß Asphaltmastix , dicht	48,0	133,4	0,44	97,2	0,32	0,27	94,2	46,2	48,0	15,7	8,9
11	40	Teilverguß Asphaltmastix , dicht	47,5	129,6	0,43	93,8	0,31	0,28	97,6	50,1	47,5	16,1	9,3

BAW

Verklammerung von Steinschüttungen
Kennwerte der Probekörper

Tabelle 1 Kennwerte der Probekörper

Der Hohlraum der Probekörper wurde vor und nach dem Einbringen der Vergußmasse mittels Tauchwägung schichtenweise so ermittelt, daß aus dem Vergleich beider Wägungen auf die Verteilung der Vergußmasse innerhalb der Steinschüttung geschlossen werden kann.

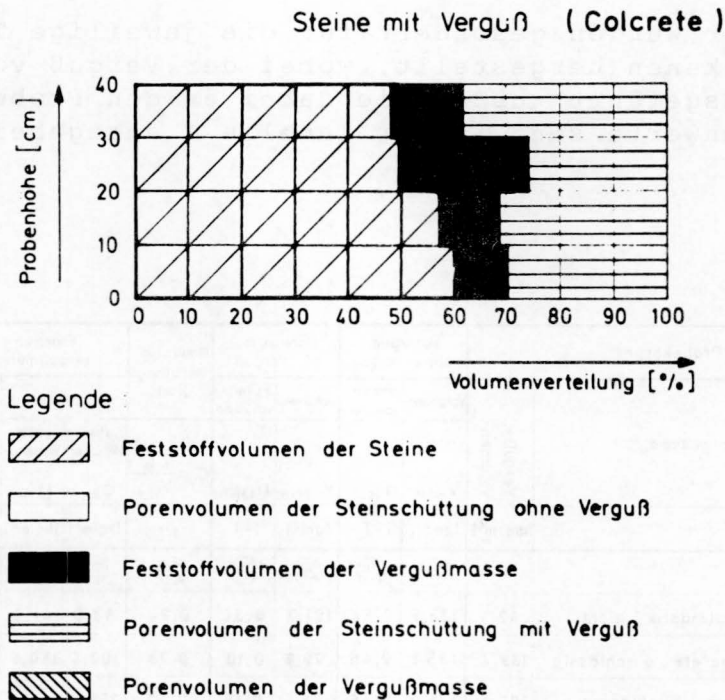


Bild 3 Verteilung der Vergußmasse innerhalb einer Steinschüttung

3 Flexibilität

Starre Auskleidungen haben in der Vergangenheit bei vielen Anwendungen als Ufersicherung versagt, da infolge von Setzungen oder Sackungen des Bodens zunächst nur ein geringer Hohlraum, nach kurzer Zeit aber bereits eine erhebliche Erosion unter dem starren Deckwerk entstehen kann. Da sich die Deckwerke nicht verformen konnten, trat deren Versagen häufig plötzlich mit großflächigem Bruch und Abrutschen auf der Böschungsebene ein.

3.1 Definition

Unter der Flexibilität eines Deckwerks wird die Fähigkeit verstanden, sich vorgegebenen Verformungen des Auflagerhorizontes (Untergrund) auch unter Eigen- und Fremdlast in der Weise anzupassen, daß die Funktion des Deckwerks ohne wesentliche Einschränkungen erhalten bleibt.

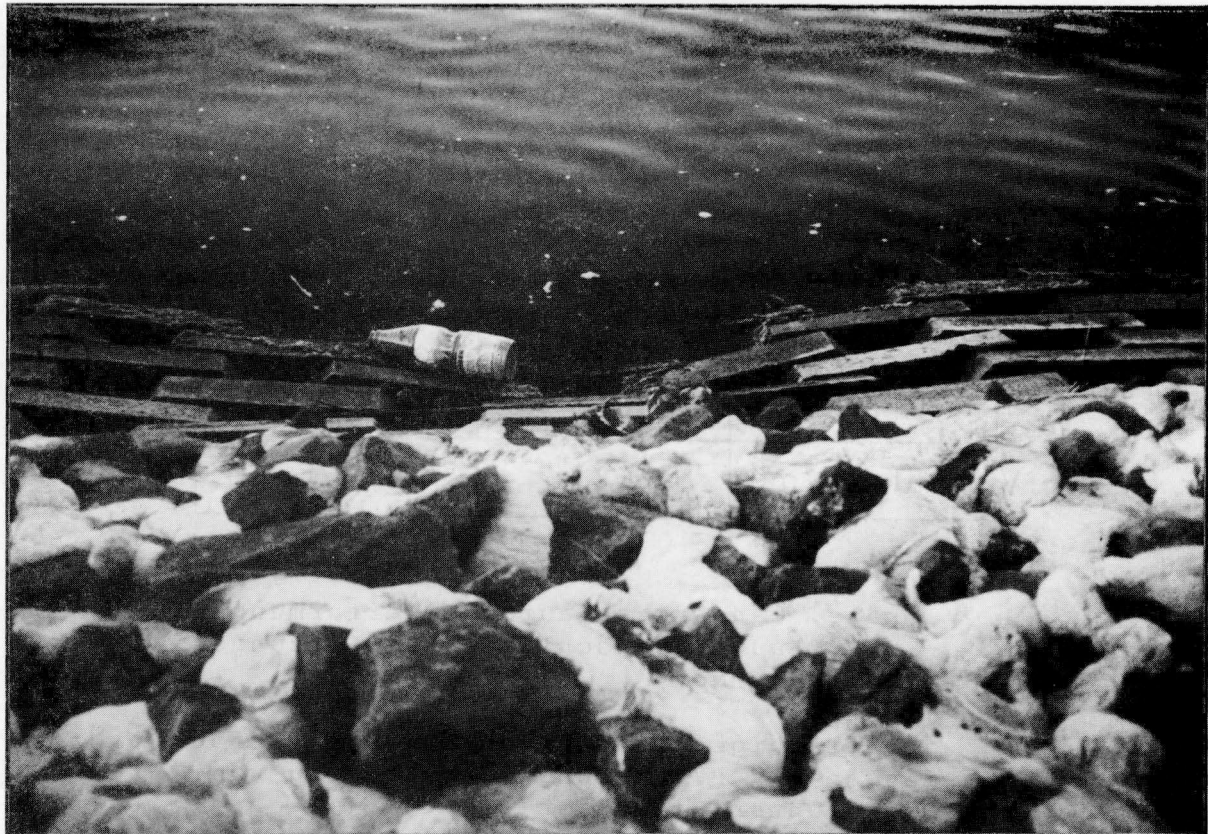


Bild 4 Verformung eines Uferdeckwerks aus Betonverbundsteinen infolge Sackung des Bodens

Zur weiteren quantitativen Beschreibung der Flexibilität von Auskleidungen eignen sich unter gleichartigen Umweltbedingungen der Parameter Krümmungsradius R und Verformungsgeschwindigkeit V_F , die unter Verwendung früherer Untersuchungen - ASBECK (1968), ZITSCHER (1977) - zu vier Anforderungsgruppen miteinander kombiniert werden können und damit maßgebende in der Praxis vorkommende Anwendungsfälle berücksichtigen.

Die Tabelle 2 enthält mögliche Ansätze für die Beurteilung.

Tabelle 2 Mögliche Anforderung an Flexibilität von Auskleidungen in Wasserstraßen

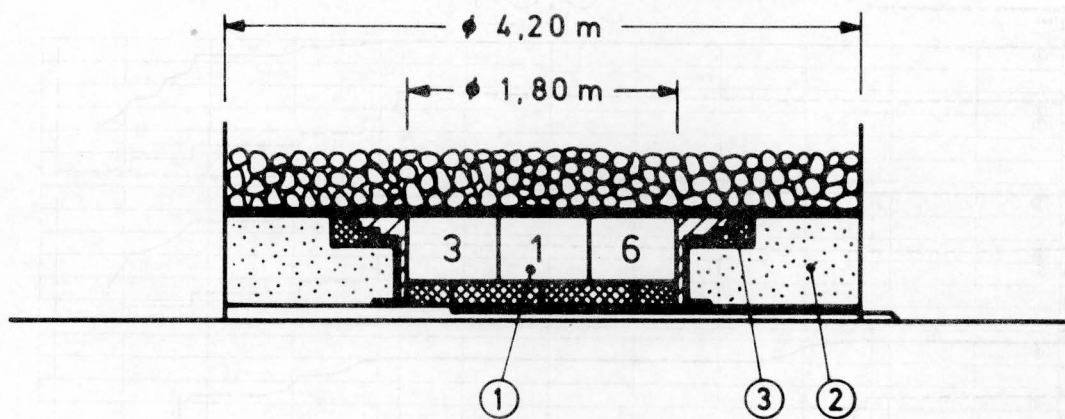
	$R_1 = 20-40 \text{ cm}$	$R_2 = 120-150 \text{ cm}$
$V_{f_1} \leq 1 \text{ mm/min}$	①	②
$V_{f_2} \geq 10 \text{ mm/min}$	③	④

- 1 lokale, langsam ablaufende Verformungen
- z.B. Bauwerksanschlüsse bei Setzungen oder Sackungen
- 2 großflächige, langsam ablaufende Verformungen - z.B. Setzung oder Sackung von Böden unter Eigenlast
- 3 lokale, schnell ablaufende Verformungen
- z.B. Bauwerksanschlüsse (z.B. am ESK, MDK u.a.)
- 4 großflächige, schnell ablaufende Verformungen - z.B. Bergsenkungen.

3.2 Prüfeinrichtungen

Für die Untersuchung der Flexibilität wurde ein kreisrunder, 1,30 m hoher Stahlblechbehälter mit einem Durchmesser von 4,20 m vorgesehen. Die flexible Unterbettung des Deckwerks bestand aus wassergefüllten Kissen, deren Innendrucke über eine Regeleinrichtung zwischen 0 und 0,5 bar gesteuert wurden. Mit der gewählten Kissenanordnung konnten sowohl streifenförmige als auch flächenhafte Unterhöhlungsvorgänge simuliert werden. Die dabei auftretenden Verformungen und Änderungen der Druckverteilungen wurden gemessen.

Die Prüfung wurde nach Herstellung und Abbinden der Probekörper durchgeführt, indem die mit Wasser gefüllten Kissen in vorgegebener Reihenfolge von ca. 3 bar in Stufen von ca. 0,5 bar entlastet wurden und damit die Auflagerung der Probekörper definiert verändert wurde:



- ① 7 Flüssigkeits-Kissen \varnothing 0,60 m
- ② Sandbett
- ③ Randausbildung aus Schaumstoff und Gummi

Bild 5 Einrichtung zur Prüfung der Flexibilität von Auskleidungen

Phase 1: Entlastung des mittleren Kissens Nr. 1

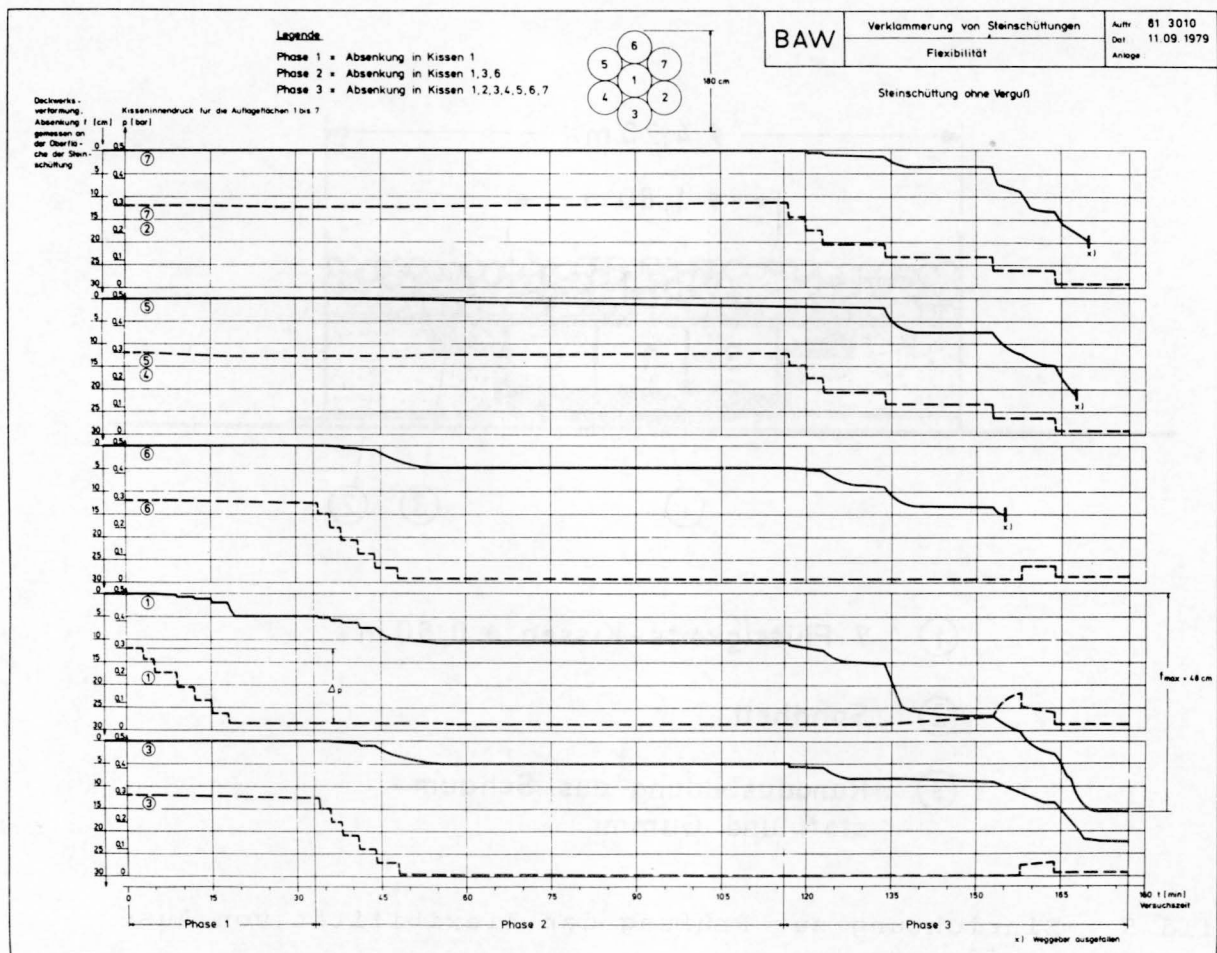
Phase 2: Nach Entlastung des mittleren Kissens (Nr. 1) wurden die benachbarten Kissen Nr. 3 und Nr. 6 entlastet, so daß eine linienförmige Absenkung simuliert wurde.

Phase 3: Nach Entlastung der Kissen Nr. 3 und Nr. 6 wurden alle restlichen Kissen entlastet.

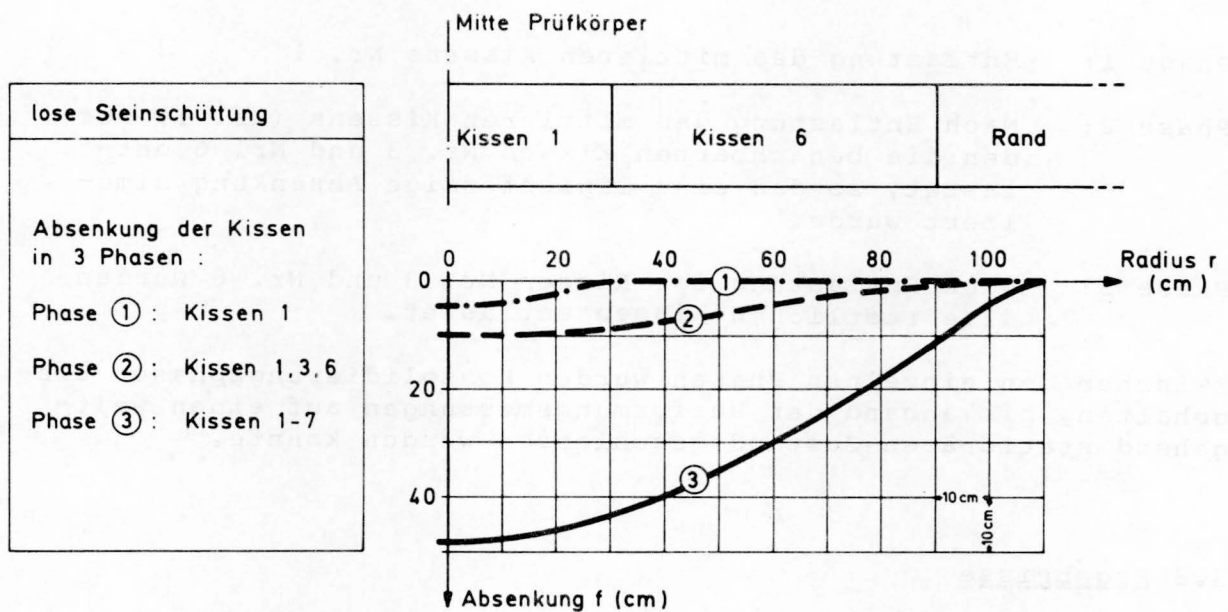
Zwischen den einzelnen Phasen wurden Konsolidierungsphasen eingehalten, bis anhand der Verformungsmessungen auf einen weitgehend stationären Zustand geschlossen werden konnte.

3.3 Ergebnisse

Zum Vergleich der gebundenen Steinschüttungen wurde auch die Flexibilität einer losen, unverklammerten Steinschüttung ermittelt. Bild 6 zeigt die Entlastung der Wasserkissen in drei Phasen und die dabei an der Oberfläche der Steinschüttung gemessenen Verformungen.



Zeitlicher Verlauf der Deckwerksverformung



Maximale Verformungsgrößen in den einzelnen Absenkungsphasen

Bild 6 Flexibilitätsprüfung an einer losen Steinschüttung

Aus den Ergebnissen der Flexibilitätsuntersuchung der losen Steinschüttung mit einer Schüttdicke von 40 cm zeigt sich insbesondere bei der Auftragung der Verformungen in Abhängigkeit von der Zeit und Art der Auflagerveränderung, daß eine Anpassung der losen Steinschüttung an örtliche Verformungsgrößen zunächst nur im begrenzten Umfang stattfindet. Die an der Oberfläche der Steinschüttung gemessenen Verformungen kommen bei kreis- und streifenförmigen Auflagerveränderungen mit Spannweiten kleiner 60 cm schon nach relativ kurzer Zeit wieder zur Ruhe, da die Eigenlasten des unterhöhlten Deckwerks im Bereich der abgesenkten Auflagerkissen durch Verspannung innerhalb des Steingerüsts über Brückenbildung auf die benachbarten Auflagerkissen abgetragen werden.

Erst als die vorgegebene Auflagerveränderung größer wurde, trat nach vorübergehender Brückenbildung der völlige Bruch des Schüttsteinhaufwerks und damit die Anpassung an die vorgegebene Größe der Kissenabsenkung ein. Die Flexibilität loser Steinschüttungen ist somit eine Folge von Kraftumlagerungen innerhalb des Haufwerks, vor allem aber eine Folge von lokalen Brüchen, bei denen sich das Haufwerk neu ordnet.

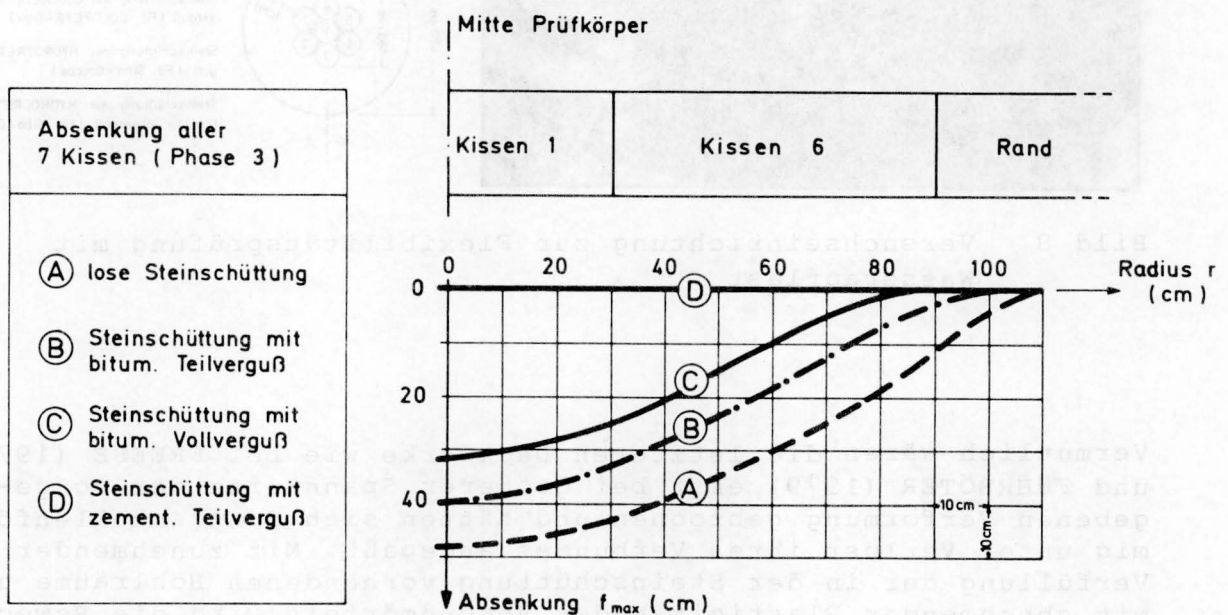


Bild 7 Flexibilitätsprüfung gebundener Steinschüttungen. Maximale Verformungsgrößen in den einzelnen Absenkungsphasen

Die an den gebundenen Steinschüttungen durchgeführten Flexibilitätsversuche haben ergeben, daß unter den vorgegebenen Verformungs- und Belastungsverhältnissen die mit bituminösen Vergußstoffen verklammerten Steinschüttungen eine weitgehende Anpassung an vorgegebene Verformungen der Auflagerebene ermöglichen, während die mit zementgebundenen Vergußmassen verklammerten Steinschüttungen auch unter zusätzlicher Wasserauflast praktisch keine Anpassung erkennen ließen.

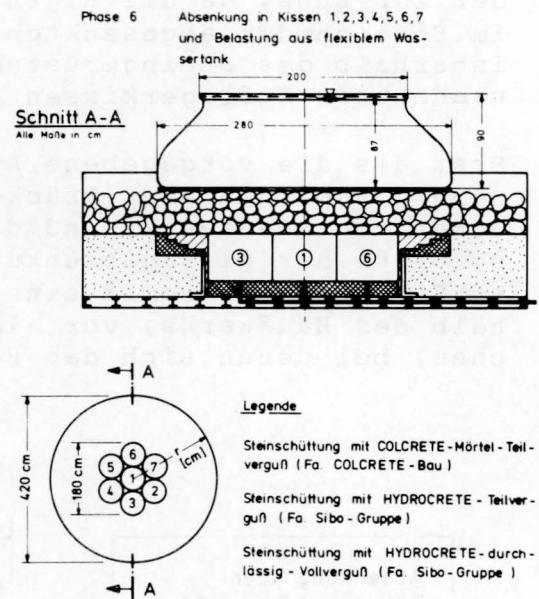
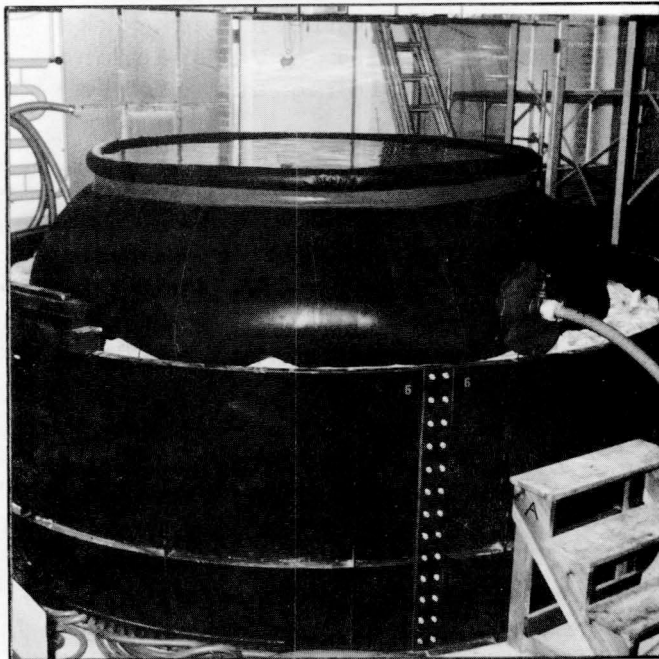


Bild 8 Versuchseinrichtung zur Flexibilitätsprüfung mit Wasserauflast

Vermutlich wären die letzteren Deckwerke wie bei FREESE (1978) und FÜHRBÖTER (1979) erst bei größerer Spannweite der vorgegebenen Verformung gebrochen und hätten sich dann schollenförmig unter Verlust ihres Verbundes angepaßt. Mit zunehmender Verfüllung der in der Steinschüttung vorhandenen Hohlräume und mit abnehmender Plastizität des Vergußmörtels wird die Beweglichkeit der einzelnen Steine des Haufwerks verringert und damit gleichzeitig auch die Anpassungsfähigkeit an vorgegebene Formänderungen behindert.

Aus den Versuchen wurde bestätigt, daß in Abhängigkeit von der Menge und Art des Verklammerungsmörtels deutliche Verminderungen der Anpassungsfähigkeit von Schüttstein-Deckwerken zu berücksichtigen sind.

Während bei der losen Steinschüttung eine noch relativ gute Flexibilität zu erkennen war, zeigten die verklammerten Deckwerke bei den mit Asphalt vergossenen Proben eine schon rela-

tiv stark beeinträchtigte Anpassungsfähigkeit an die im Versuch vorgegebenen Auflagerveränderungen. Die zementgebundenen Deckwerke besaßen dagegen überhaupt keine Flexibilität mehr.

4 Wasserdurchlässigkeit

Bei der Fahrt eines Schiffes durch ein in Breite und Tiefe begrenztes Gewässer entsteht ein plötzlicher Absink des Wasserspiegels in der Umgebung des Schiffes, der infolge des verzögerten Nachlaufs des Grundwasserspiegels ein Druckgefälle im Boden und in der Kanalauskleidung selbst zur Folge hat. Zur schadlosen Aufnahme dieses Druckgefälles kann entweder eine gering durchlässige, dafür aber entsprechend schwere Auskleidung oder eine ausreichend durchlässige, entsprechend leichtere Auskleidung gewählt werden.

4.1 Definition

Die Wasserdurchlässigkeit eines porösen Mediums wird in der Praxis mit dem k -Wert nach DARCY gekennzeichnet, der bei einem Druckgefälle von $i = 1$ laminare Fließzustände in den Poren des Mediums voraussetzt.

Mit den hier vorliegenden Kornabmessungen der Schüttsteine nach Klasse II sind jedoch Porengrößen vorhanden, die entgegen der Voraussetzung des Darcy'schen Gesetzes (Filtergeschwindigkeit v verhält sich proportional zum hydraulischen Gefälle i) keine laminaren Durchflußverhältnisse mehr erwarten lassen. Untersuchungen an grobporösen Schüttungen wurden z.B. auch von LEUSSINK (1956), SCHAEF (1964) und zuletzt auch FÜHRBÖTER (1979) durchgeführt.

Bei der hier auftretenden großen Durchflußgeschwindigkeit und Durchflußmenge des Wassers bot es sich mit Rücksicht auf einen vertretbaren Untersuchungsaufwand an, die Wasserdurchlässigkeitsprüfungen mit dem Verfahren der abnehmenden Wassersäule durchzuführen.

Bild 9 zeigt das Prinzip dieser Untersuchungen. Über eine Wägezelle wird das Gewicht der fallenden Wassersäule kontinuierlich über Meßwertschreiber aufgezeichnet. Durch eine abschnittsweise Auswertung der so erhaltenen Funktionskurve werden in Abhängigkeit zum jeweils wirkenden mittleren hydraulischen Gefälle i_m je nach Art des Durchströmungsvorganges die Unterschiede zwischen laminarem und turbulentem Durchfluß auswertbar.

Bei rein laminarem Durchfluß ist eine Abhängigkeit des Wasserdurchlässigkeitswertes k mit veränderlichem Gefälle i nicht zu erkennen - hier gilt das Gesetz von Darcy ($v = k \cdot i$).

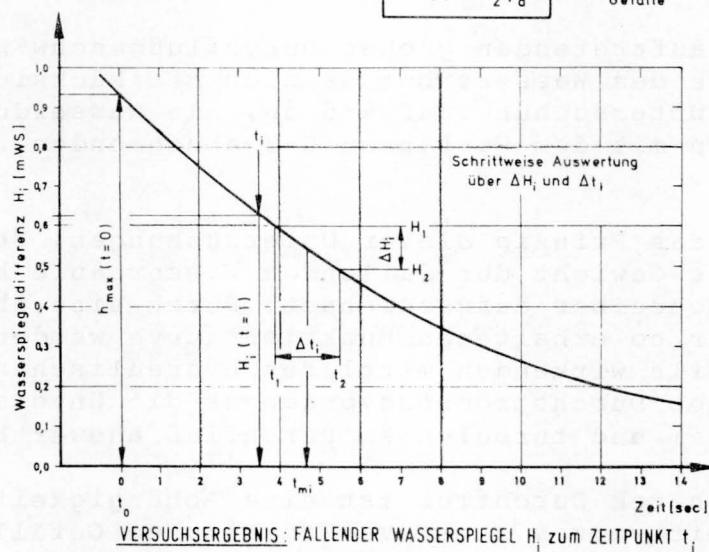
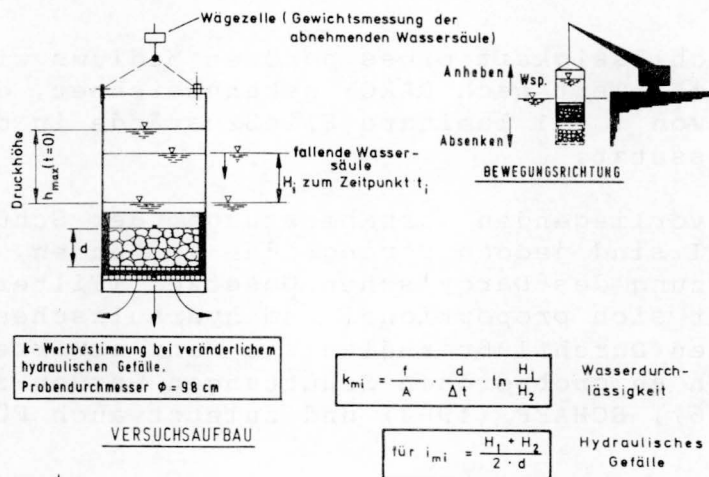
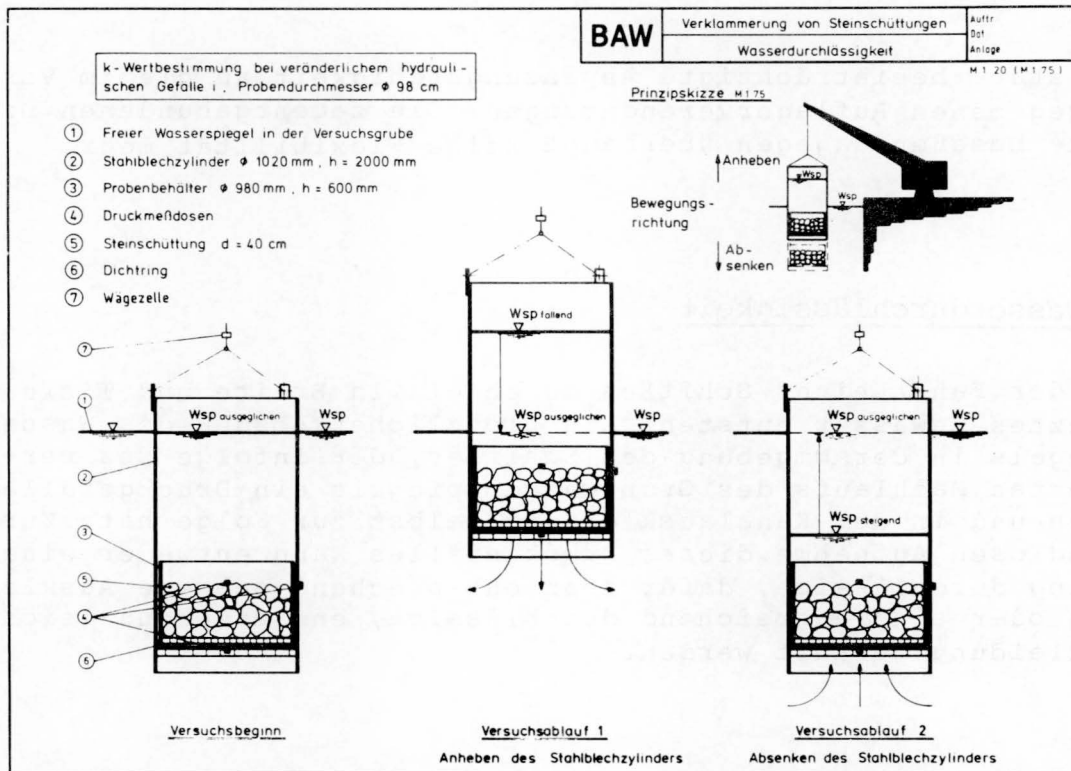


Bild 9 Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit mit fallender Wassersäule

Bei zunehmender Änderung der Durchflußcharakteristik in Richtung des ausgesprochen turbulenten Durchflusses ist eine deutliche Verminderung des Wasserdurchlässigkeitswertes k bei gleichzeitig anwachsendem hydraulischen Gefälle i feststellbar - hier gilt das Gesetz von Darcy nicht mehr.

4.2 Prüfeinrichtungen

Die Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes k erfolgte in zwei voneinander unabhängigen Versuchseinrichtungen, um mögliche Einflüsse der durchströmten Deckwerksfläche erfassen zu können. Beim Laborversuch wurden die Probekörper in zylindrischen Metallbehältern mit einem Durchmesser von 980 mm bei fallendem Wasserspiegel untersucht. Durch Anheben des äußeren Stahlblechzylinders wurde die Probe senkrecht zur Deckwerkebene von oben nach unten durchströmt. Der zeitliche Ablauf der Wasserspiegeländerung wurde während des Versuchs mit Meßwertgebern kontinuierlich aufgezeichnet.

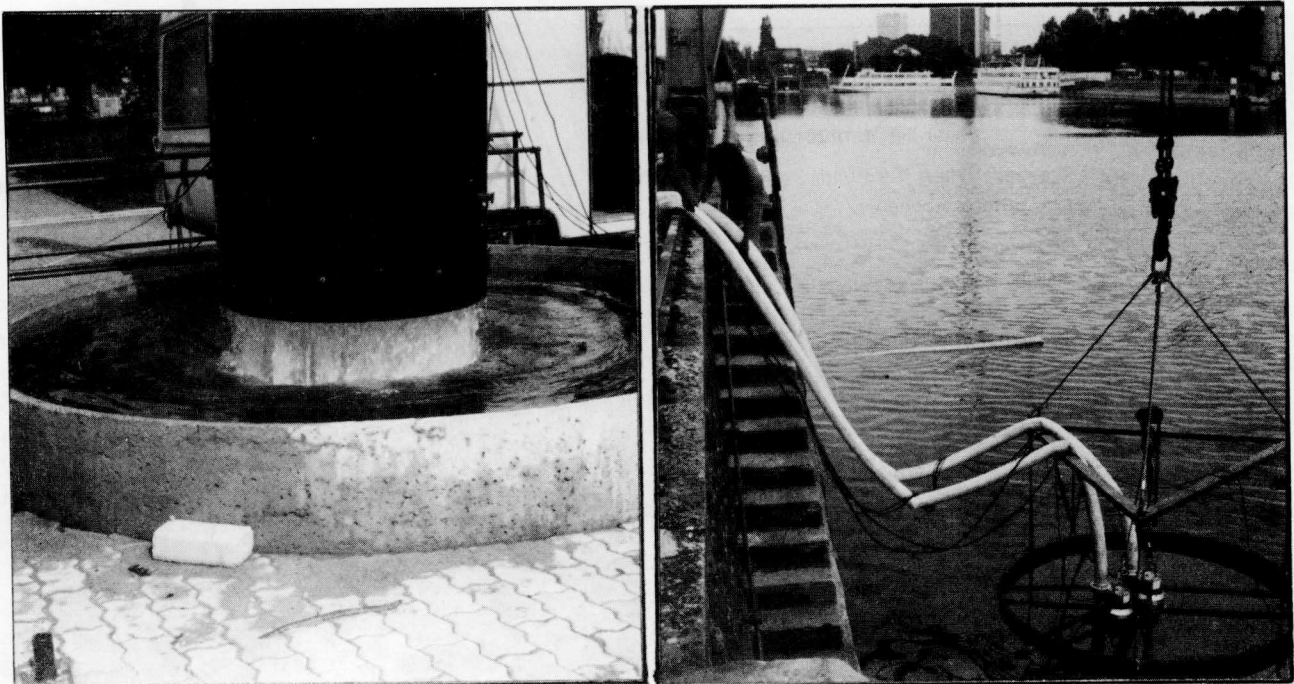


Bild 10 Einrichtungen zur Prüfung der Wasserdurchlässigkeit, links Laborversuch, rechts Feldversuch

Im Feldversuch wurde die Wasserdurchlässigkeit bei konstantem hydraulischen Gefälle untersucht, indem die Deckwerksprobe mit einem Durchmesser von 2,50 m mit einem Kran in Wasser eingetaucht und durch Abpumpen des Wassers innerhalb des Probezylinders von unten nach oben senkrecht durchströmt wurde. Die Durchflußmengen- und Druckdifferenzmessungen wurden aufgezeichnet.

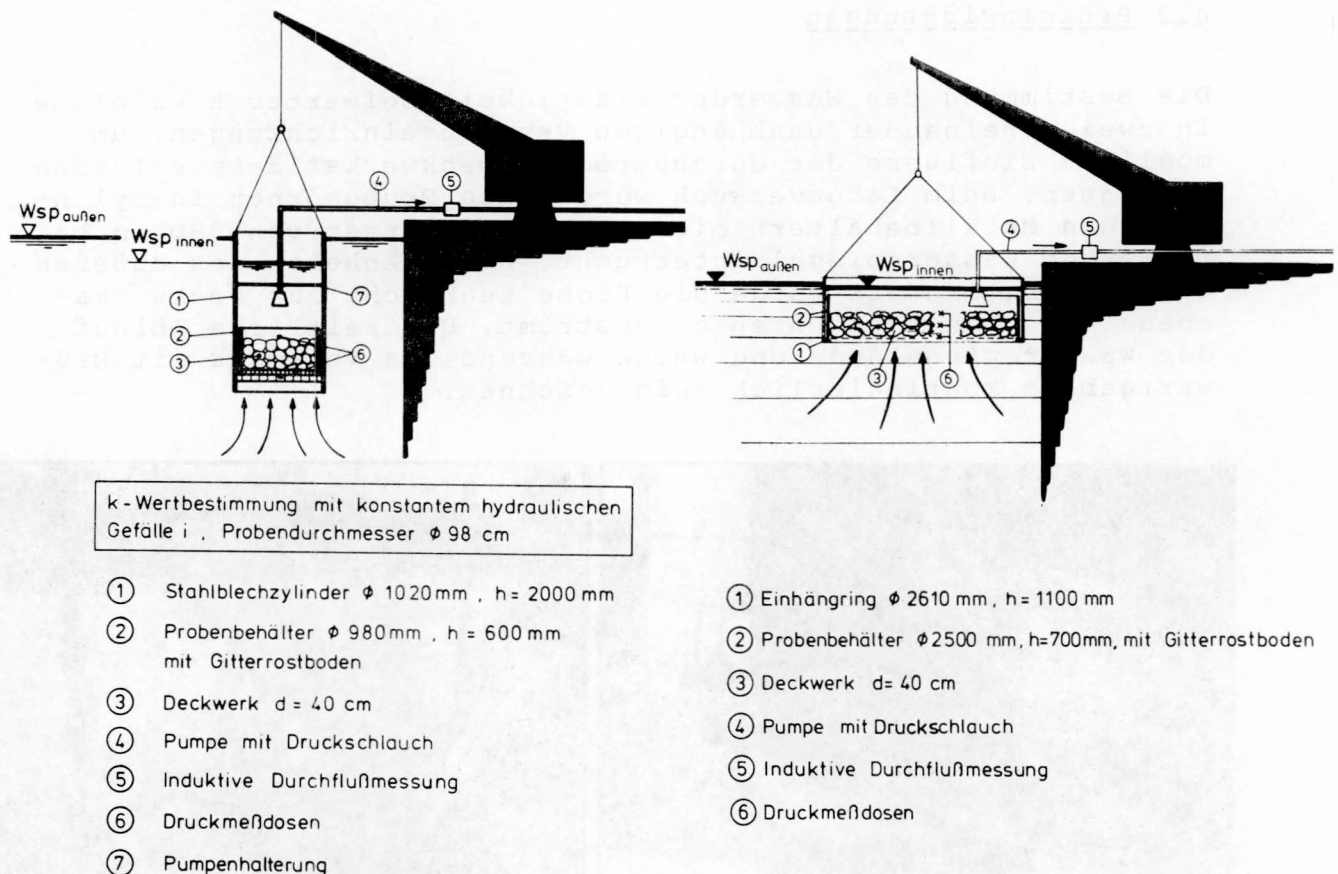


Bild 11 Versuchseinrichtung zur Prüfung der Wasserdurchlässigkeit mit konstantem hydraulischem Gefälle i

4.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Versuche sind in Bild 12 dargestellt. Die Meßergebnisse zeigen den für nichtlaminare Durchströmungsverhältnisse charakteristischen Verlauf der Wasserdurchlässigkeit k , der im doppeltlogarithmischen Maßstab, aufgetragen über dem jeweils zum Zeitpunkt t_i wirkenden hydraulischen Gefälle $i = H_i/d$, eine lineare Abhängigkeit erkennen läßt. Mit zunehmendem hydraulischen Gefälle i wird die Wasserdurchlässigkeit vermindert, was sich aus dem Reibungsverlust bei der turbulenten Durchströmung erklären läßt. Die allgemeine Gleichung für die Wasserdurchlässigkeit lautet damit:

$$k_i = k_0 \cdot i^{-z} \quad \text{m/sec} \quad (6)$$

wobei: k_i = Wasserdurchlässigkeit bei unterschiedlichem hydraulischem Gefälle i

k_0 = Wasserdurchlässigkeit bei $i = 1$ (Darcy)

z = Exponent zum hydraulischen Gefälle i für $0 \leq z \leq 0,5$

Hierbei gilt für den laminaren Durchfluß (entsprechend den Voraussetzungen nach Darcy) $z = 0$ und für den vollkommen turbulenten Durchfluß (abweichend von Darcy) $z = 0,5$. Für Durchströmungsvorgänge, die im Zwischenbereich zwischen laminarem und turbulentem Durchfluß einzuordnen sind, gelten die Zwischenwerte von $z = 0$ bis $0,5$.

Der üblicherweise verwendete k -Wert für $i = 1$ reicht nur zur groben Beurteilung der Eigenschaften einer durchlässigen Deckschicht aus. Da durchaus größere hydraulische Gefälle als $i = 1$ bei schnellem Absink eines Kanalwasserspiegels bei Schiffs vorbeifahrt in Auskleidungen von Wasserstraßen vorkommen, sind auch k -Werte mit größerem Gefälle zu erfassen. Die Auswertung aller Versuche ermöglichte eine grobe Bewertung der für gebundene durchlässige Steinschüttungen in Betracht kommenden Bauweisen, aus der sich zunächst vorläufige Richtwerte ergeben.

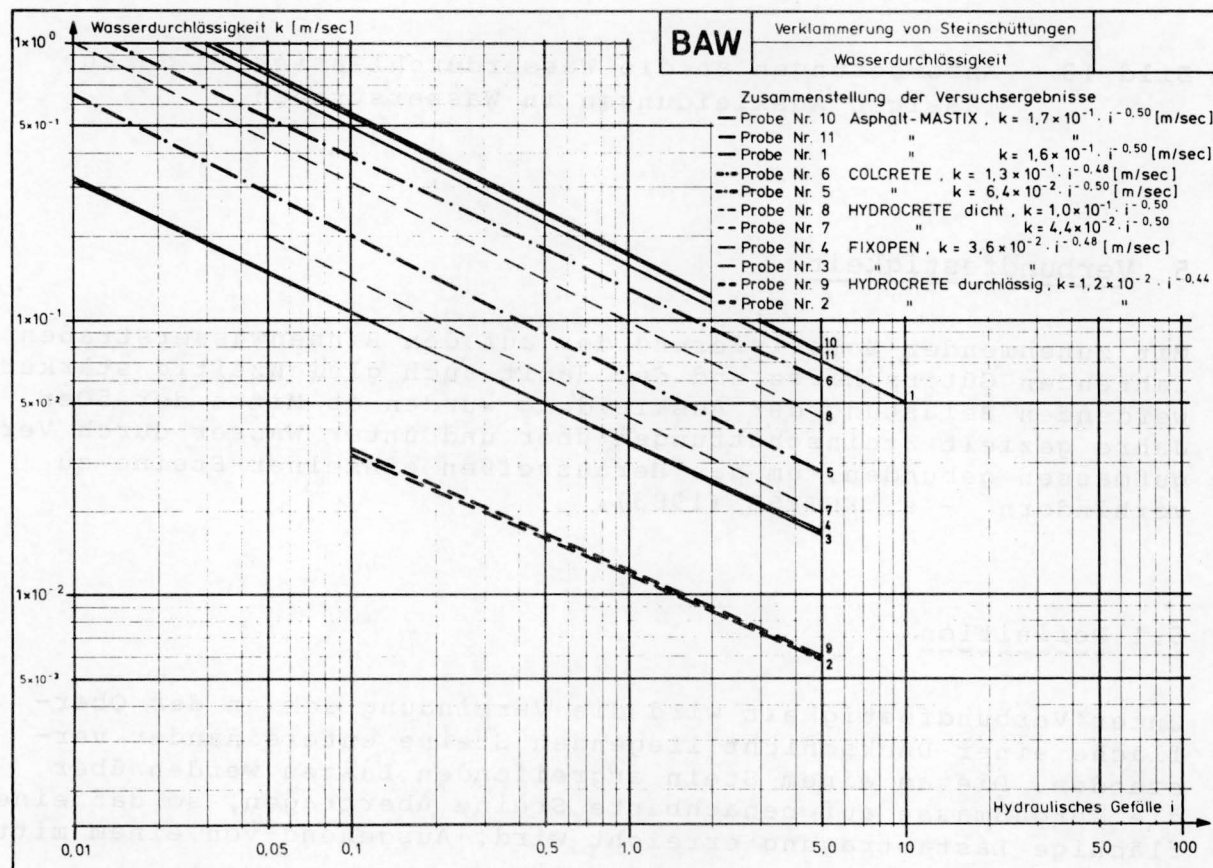


Bild 12 Wasserdurchlässigkeit (k -Werte) von Steinschüttungen

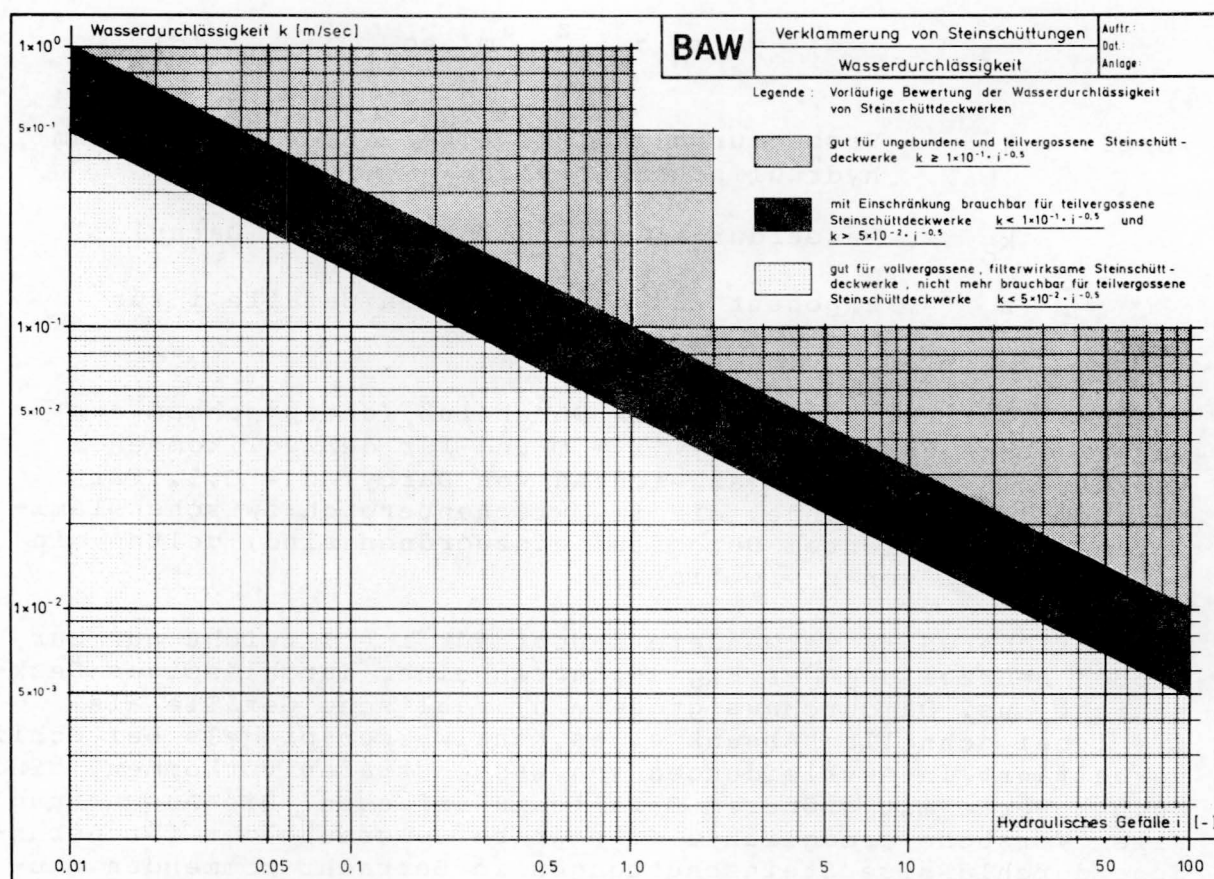


Bild 13 Anforderungen an die Wasserdurchlässigkeit durchlässiger Auskleidungen in Wasserstraßen

5 Verbundfestigkeit

Mit zunehmender Motorisierung der auf den Binnenwasserstraßen fahrenden Güterschiffe und der damit auch gleichzeitig stärker werdenden Belastung der Auskleidung wurden ab Mitte der 50er Jahre gezielt Steinschüttungen über und unter Wasser durch Vergußmassen gebunden, um das Herausreißen einzelner Steine zu verhindern - s. KNISS (1983).

5.1 Definition

Unter Verbundfestigkeit wird die Verbindung der an der Oberfläche einer Deckschicht liegenden Steine untereinander verstanden. Die an einem Stein angreifenden Lasten werden über die Vergußmasse auf benachbarte Steine übertragen, so daß eine flächige Lastabtragung erreicht wird. Ausgehend von einem mitt-

leren Gewicht eines Steins der Größenklasse II (TLW - 1977) von ca. 10 kg wurde als Richtwert für die durch einen Teil- oder Vollverguß zu erreichende Verbundfestigkeit ca. der 10-fache Wert des Einzelgewichts als Zugbeanspruchung senkrecht zur Deckwerksebene pro Einzelstein angesetzt.

5.2 Prüfeinrichtungen

Zur Prüfung des durch die Vergußmasse tatsächlich erreichten Verbundes wurden die an der Oberfläche des Deckwerks liegenden Steine innerhalb einer festgelegten Fläche angebohrt und mit Haken versehen. Die Steine wurden dann senkrecht zur Deckwerkebene durch stetig anwachsenden Zug belastet. Es wurde festgestellt, welche Zugkraft pro Stein aufgenommen werden kann, wobei die maximale Zugkraft auf 10 kN beschränkt blieb.

Aus den innerhalb der Meßfläche erhaltenen Einzelwerten kann statistisch auf die tatsächlich erreichte Verklammerung geschlossen werden.

5.3 Ergebnisse

Bei den Zugversuchen ließen sich drei unterschiedliche Kraft-Weg-Abhängigkeiten als für die jeweilige Vergußart typische Bruchformen erkennen.

Typ 1: Zunahme der Zugkraft bis zur Grenzkraft ohne nennenswerte Bewegung des Steins; typisch für ausreichenden Verguß mit zementgebundenem Mörtel.

Typ 2: Zunahme der Zugkraft mit plötzlichem Ausbrechen des Steins; typisch für mangelhaften Verguß mit zementgebundenem Mörtel.

Typ 3: Stetige Zunahme der Bewegung des Steins bei konstanter bzw. bei langsam anwachsender Zugkraft bis zum Ausbrechen; typisch für ausreichenden Verguß mit bituminös gebundenen Stoffen.

Insgesamt hat sich gezeigt, daß ungeachtet der jeweiligen Vergußarten und der damit zu erwartenden Bruchformen alle Zugbelastungen die als Richtwerte geforderte Zugfestigkeit deutlich und z.T. erheblich überschritten. Die größten Verbundfestigkeiten ergaben hierbei die mit zementgebundenen Vergußstoffen teil- und vollvergossenen Steinschüttungen.

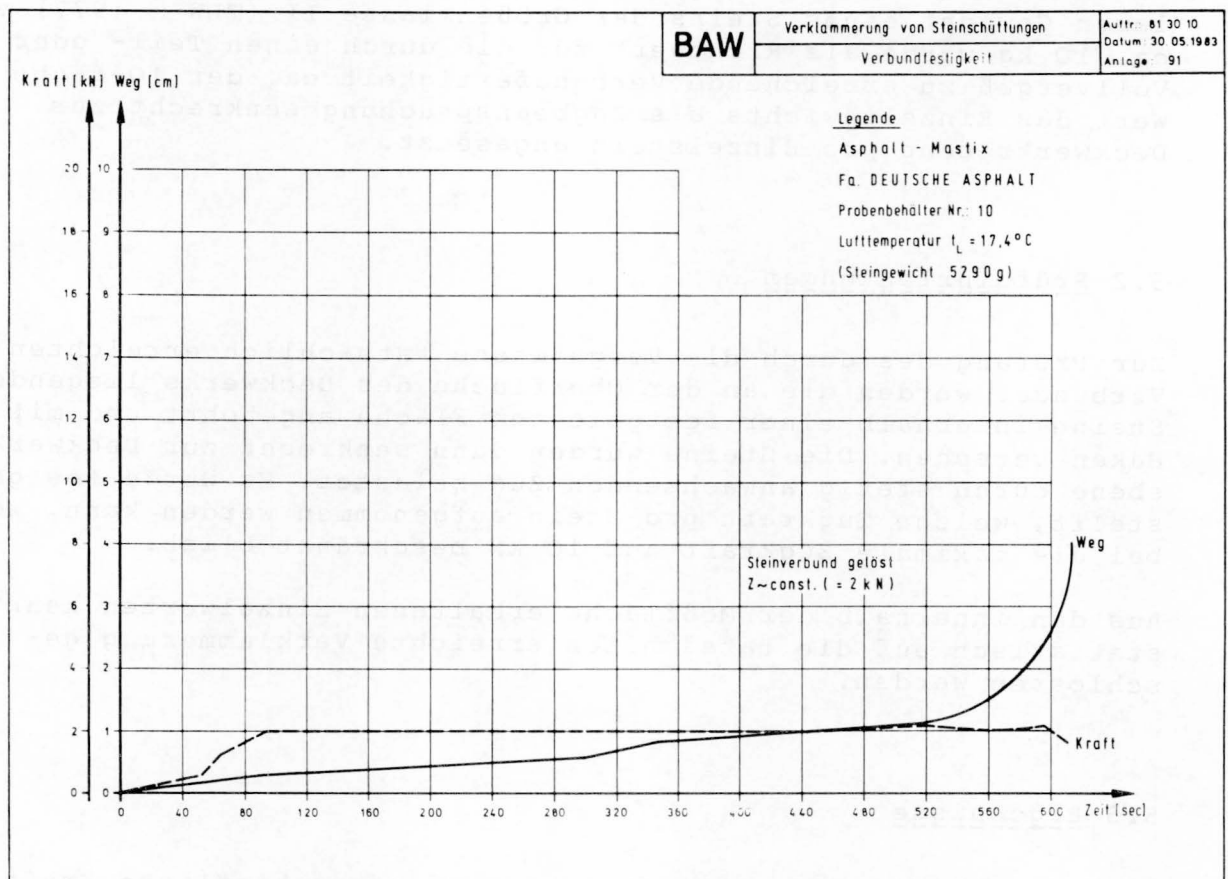


Bild 14 Beispiel einer Zugkraftprüfung (Typ 3)

6 Zusammenfassung

Zur Klärung der grundsätzlichen Eigenschaften und Unterschiede von Deckschichten aus durchlässigen gebundenen Steinschüttungen wurden 1979/80 von der BAW Untersuchungen durchgeführt, in denen

Flexibilität,
Wasserdurchlässigkeit,
Verbundfestigkeit

ermittelt wurden. Hierzu wurden unter weitgehend gleichen Randbedingungen Prüfkörper aus Schüttsteinen der Größenklasse II hergestellt, die anschließend von Fachfirmen im Trockenen mit dichten und durchlässigen Vergußstoffen teil- bzw. vollvergos- sen wurden. Verwendet wurden sowohl bituminös- als auch zement- gebundene Vergußstoffe. Die aus den Untersuchungen erhaltenen Ergebnisse stellen einerseits Richtwerte der heute technisch praktikablen Bauweisen dar und bilden andererseits hinsichtlich der angewandten Prüfverfahren die Grundlage für die inzwischen im Verkehrswasserbau üblichen Eignungsprüfungen.

7 Literatur

- ASBECK, W.F.v. (1968) : Bitumen im Wasserbau.
Mainz und Heidelberg, Verlag
Hüthig und Dreyer 1968
- BUNDESMINISTER FÜR
VERKEHR (1976) : Technische Lieferbedingungen für
Wasserbausteine.
Ausgabe 1976, Verkehrsblatt
(1976), H. 16, S. 549 ff
- DEUTSCHER BETONVEREIN(1983): Vergußmörtel, Merkblatt für die
Anwendung, Abnahme und Prüfung
von werkgemischtem Vergußmörtel,
Nov. 1982.
Beton 1/1983, S. 24 - 27
- FREESE, D. et al. (1978) : Neuartige Betone für den Wasser-
bau.
Beton 1978, Heft 6, S. 205 - 208
- FREESE, D. et al. (1979) : Bauen unter Wasser - neues Verfah-
ren für die Anwendung zementge-
bundener Baustoffe.
Tiefbau 1979, Heft 4, S. 304-309
- FÜHRBÖTER, A. und
DETTE, H.H. (1979) : Prüfverfahren bei Vergußdeckwerken.
Beton 29 (1979), Heft 9,
S.314-316, Heft 10, S. 355-359
- KNIESS, H.-G. (1981) : Uferdeckwerke an Wasserstraßen.
Baustoffe, Bauweisen und Bauver-
fahren, 11. Wasserbauseminar RTH
Aachen 1981.
Mitteilungen des Instituts für
Wasserbau und Wasserwirtschaft,
Heft 36/1981
- KNIESS, H.G. (1983) : Kriterien und Ansätze für die
technisch-wirtschaftliche Bemes-
sung von Auskleidungen in Binnen-
schiffahrtskanälen.
Mitteilungsblatt der Bundesanstalt
für Wasserbau, Heft 53/1983
- KNIESS, H.-G. und
KÖHLER, H.-J. (1983) : Bericht über die Untersuchung ge-
bundener Steinschüttungen auf
Flexibilität, Verbundfestigkeit
und Wasserdurchlässigkeit
(unveröffentlicht)

- LEUSSINK (1956) : Durchlässigkeitsversuche mit Steingeröll.
Vortrag auf der Baugrundtagung in Köln 1956, S. 232 - 238
- SCHAEF, H.J. (1964) : Betrachtungen zu durch- und überströmten Steinschüttungen.
Berlin IfW 1964
- ZITSCHER, F.F. (1977) : Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau.
Die Bautechnik, Heft 11/1977, Hefte 1, 2 und 4/1978